

## 明細書

圧電振動片と圧電振動片を利用した圧電デバイス、ならびに圧電デバイスを利用した携帯電話装置および圧電デバイスを利用した電子機器

### 技術分野

本発明は、圧電振動片と、この圧電振動片をパッケージに收容した圧電デバイス、ならびに圧電デバイスを利用した携帯電話と電子機器に関する。

### 背景の技術

HDD（ハード・ディスク・ドライブ）、モバイルコンピュータ、あるいはICカード等の小型の情報機器や、携帯電話、自動車電話、またはページングシステム等の移動体通信機器において、パッケージ内に圧電振動片を收容した圧電振動子や圧電発振器等の圧電デバイスが広く使用されている。

図11は、このような圧電デバイスの構成例を示す概略断面図である。

図において、圧電デバイス1は、パッケージ2の内部に、圧電振動片3を收容している。パッケージ2はこの場合、絶縁材料を浅い箱状に形成したもので、内部に圧電振動片3を收容固定した後で、蓋体4により封止されるようになっている。

パッケージ2は、セラミックのグリーンシートでなる複数の基板2a、2b、2cを成形して積層し、焼結することにより形成されており、基板2b、2cの内側には、成形時に材料を除去して形成した孔を設けることにより、図示するように圧電振動片3を收容する空間を形成している。

圧電振動片3は、例えば水晶をエッチングすることにより図12のような形成とされている。図示されているように、圧電振動片3は、基部5と、この基部5か

ら図において右方に平行に延びる一対の振動腕 6, 7 を備える、所謂、音叉型水晶片で構成されている。

振動腕 6, 7 には、長さ方向に延びる溝 6 a と溝 7 a とがそれぞれ形成されている。この振動腕 7 の B-B 線切断端面図を図 1 3 に示す。図 1 3 に示されているように、励振電極 8 a, 8 b が形成されており、この励振電極 8 a, 8 b に対して外部から駆動電圧を印加することにより、図 1 3 の矢印に示すように、振動腕 7 内部に矢印で示すように電界が形成される。このような電界の作用によって、図 1 2 の各振動腕 6, 7 について、それぞれ、各溝 6 a, 7 a を挟んだ両側の材料が、矢印に示すように伸長と、収縮を交互に繰り返す。

これにより、図 1 2 に示すように、振動腕 6, 7 は、矢印 A に示すように、その先端側を互いに接近、離間するように振動する。尚、図 1 2 では、理解の便宜のため、振動腕 6, 7 の動きを実際よりも極端に誇張して示している。このような振動に基づく振動周波数を取り出すことにより、制御クロック信号等の各種信号に利用されるようになっている。

ここで、図 1 2 の振動腕 6, 7 の矢印 A に沿った振動は、図 1 3 の矢印 x 方向（この方向を、以下、「水平方向」という）に沿う水平な動きである。

【特許文献 1】 特開昭 5 6 - 6 5 5 1 7 号

ところが、図 1 3 において、振動腕 7 について、その表裏に溝 7 a, 7 a を形成する製造工程では、振動腕 7 の表側と裏側から、それぞれハーフエッチングすることで溝 7 a, 7 a を形成している。そして、100  $\mu$ m 程度の腕幅しかない振動腕 7 に対して、表裏面に設けられる各溝 7 a, 7 a は、振動腕 7 の表側と裏側

から別々に形成されるために、図 1 3 に示されているように、図において、左右方向に位置が互いにずれた状態で形成されることがある。

このような状態であると、図 1 2 で示すように、振動腕 6, 7 が矢印 A 方向に振動する際に、その動きに図 1 3 の z 方向（この方向を、以下、「垂直方向」という）成分の動きが加わり、矢印 C 方向の振動となってしまう。

このような振動特性の変化により種々の弊害があるが、例えば、図 1 4 は、各振動腕 6, 7 が矢印 A 方向に、正しく振動した場合の圧電振動片 3 の周波数シフトと温度変化の相関を示し、図 1 5 は、各振動腕 6, 7 が図 1 3 で説明したように垂直成分の動きを伴って振動した場合の圧電振動片 3 の周波数シフトと温度変化の相関を示している。

すなわち、周波数  $f$  は、 $k$  を定数、 $E$  を弾性定数、 $I$  を断面二次モーメントとすると、次式で表される。

$$f = k \cdot (E \cdot I)^{-2} \cdots \cdots \text{式 (1)}$$

このため、温度特性は、弾性定数や弾性二次モーメントの変化により、二次曲線を示す。

これらの圧電振動片 3 の温度特性を比較すると、周波数変化の頂点温度が図 1 4 の場合は正常で、摂氏 25 度付近であるが、図 1 5 の場合には、マイナス側にずれて摂氏 14 度程度になっている。

本発明は、振動腕の垂直方向の動きを抑制して、振動腕のほぼ全長にわたり剛性を確保することで、適切な振動を実現できる圧電振動片と、この圧電振動片を利用した圧電デバイス、ならびに圧電デバイスを利用した携帯電話と電子機器を提供することを目的とする。

## 発明の概要

上述の目的は、第１の発明によれば、圧電材料により形成されており、基部から平行に延びる一対の振動腕と、前記各振動腕にそれぞれ設けられ、各振動腕の長さ方向に沿って延びる有底の溝と、前記溝を幅方向に横切るように設けられ、前記溝により幅方向に分離された振動腕を構成する材料を一体に接続する支持部とを備える、圧電振動片により、達成される。

第１の発明の構成によれば、各振動腕に形成される溝は、有底の溝であることから、各振動腕に貫通溝を形成する場合と比較すると、これら各振動腕は、より高い剛性を備えることになる。さらに、各溝には、この溝を幅方向に横切るように設けられ、溝により幅方向に分離された振動腕を構成する材料を一体に接続する支持部が設けられている。これにより、支持部は、特に、溝の底部の構造と一体となって、溝により幅方向に分離された振動腕を構成する材料を支持し、変形が生じないようにする。このため、各振動腕の振じれ方向の剛性を強化することができる。

したがって、本発明によれば、支持部を振動腕に多数設ける必要がないので、振動腕の垂直方向の動きを抑制して、振動腕のほぼ全長にわたり剛性を確保することで、適切な振動を実現できる圧電振動片を得ることができるという効果を発揮する。

第２の発明は、第１の発明の構成において、前記支持部の前記溝の底部と一体になった一体部が、この支持部の少なくとも前記溝の開口側の端部よりも、その厚みが増すように形成されていることを特徴とする。

第２の発明の構成によれば、前記支持部の前記溝の底部と一体になった一体部が、この支持部の少なくとも前記溝の開口側の端部よりも、その厚みが増すように形成されている。言い換えれば、前記支持部は溝の底部に向かってその厚みが増

すように形成されている。このため、支持部は溝の底部と特に強固に接続されている。したがって、この圧電振動片においては、前記支持部がこの溝の底部と強固に固定されることで、振動腕の振じれ方向の変形力に対して、有効に対抗でき、この振じれ方向の変形を一層効果的に防止することができる。

第3の発明は、第1または第2の発明のいずれかの構成において、前記溝が前記各振動腕の表面及び裏面にそれぞれ設けられていることを特徴とする。

第3の発明の構成によれば、各振動腕の表裏面にそれぞれ前記溝を形成するので、細い振動腕に微細な幅で溝を形成することで、表裏の溝位置がずれてしまう場合がある。しかしながら、本発明者は、このような有底の溝が振動腕の剛性を強化する上で大きな効果を発揮することに着目して、このような表裏の溝のずれという加工上の欠点を許容し、それに伴う弊害は、表裏の各溝に前記支持部を形成して解決するようにしている。つまり、溝が底部を設けることと、表裏の溝に前記支持部を形成することがあいまって、各振動腕の垂直成分の動きを効果的に抑制することができる。

第4の発明は、第1ないし第3の発明のいずれかの構成において、前記支持部が、前記溝の一つに対して複数形成されていることを特徴とする。

第4の発明の構成によれば、ひとつの溝に形成される支持部の数を増やすと、C I（クリスタルインピーダンス）値が上昇するが、支持部の数を増やすことで、振動腕の剛性はその分向上する。

第5の発明は、第1ないし第4の発明のいずれかの構成において、前記各振動腕の腕幅が、 $50\mu\text{m}$ ないし $150\mu\text{m}$ であり、前記溝の深さが、前記各振動腕の材料厚みの30パーセント以上50パーセント未満であることを特徴とする。

第5の発明の構成によれば、前記各振動腕の腕幅を、 $50\mu\text{m}$ ないし $150\mu\text{m}$

とした場合において、前記溝の深さが、前記各振動腕の材料厚みの30パーセント未満であると、C I 値の低減効果が十分得られず、実用可能なC I 値とならない場合がある。また、前記溝の深さが、前記各振動腕の材料厚みの50パーセントを越えると、振動腕の表裏面にそれぞれ溝を形成することが不可能となる。

第6の発明は、第1ないし第5の発明のいずれかの構成において、前記各振動腕に設けた前記溝の溝幅が、各振動腕の腕幅の40パーセント以上であることを特徴とする。

第6の発明の構成によれば、振動腕の腕幅の40パーセント以上とすることにより、C I 値を適切に抑制して実用可能なC I 値を実現することができるという作用を発揮する。

第7の発明は、第6の発明の構成において、前記各振動腕に設けた前記溝の溝幅が、各振動腕の腕幅の70パーセント以上であることを特徴とする。

第7の発明の構成によれば、振動腕の腕幅の70パーセント以上とすることにより、C I 値の抑制が最大限に可能となり、振動腕の腕幅の100パーセント近くなると、振動腕に溝を形成することが不可能になる。

上述の目的は、第8の発明によれば、ケースもしくはパッケージ内に圧電振動片を收容した圧電デバイスであって、前記圧電振動片が、基部から平行に延びる一対の振動腕と、前記各振動腕にそれぞれ設けられ、各振動腕の長さ方向に沿って延びる有底の溝と、前記溝を幅方向に横切るように設けられ、前記溝により幅方向に分離された振動腕を構成する材料を一体に接続する支持部とを備える、圧電デバイスにより、達成される。

第8の発明によれば、この圧電デバイスに收容されている圧電振動片の各振動腕には有底の溝が形成されており、この溝に設けた支持部は、特に、溝の底部の構

造と一体となって、溝により幅方向に分離された振動腕を構成する材料を支持し、変形が生じないようにする。このため、各振動腕の振じれ方向の剛性を強化することができる。このことにより、圧電デバイスに収容された圧電振動片について、その振動腕の垂直方向の動きを抑制して、振動腕のほぼ全長にわたり剛性を確保できるので、適切な振動を実現できる。

上述の目的は、第 9 の発明によれば、ケースもしくはパッケージ内に圧電振動片を収容した圧電デバイスを利用した携帯電話装置であって、前記圧電振動片が、基部から平行に延びる一対の振動腕と、前記各振動腕にそれぞれ設けられ、各振動腕の長さ方向に沿って延びる有底の溝と、前記溝を幅方向に横切るように設けられ、前記溝により幅方向に分離された振動腕を構成する材料を一体に接続する支持部とを備える圧電デバイスにより、制御用のクロック信号を得るようにした、携帯電話装置により、達成される。

上述の目的は、第 10 の発明によれば、ケースもしくはパッケージ内に圧電振動片を収容した圧電デバイスを利用した電子機器であって、前記圧電振動片が、基部から平行に延びる一対の振動腕と、前記各振動腕にそれぞれ設けられ、各振動腕の長さ方向に沿って延びる有底の溝と、前記溝を幅方向に横切るように設けられ、前記溝により幅方向に分離された振動腕を構成する材料を一体に接続する支持部とを備える圧電デバイスにより、制御用のクロック信号を得るようにした、電子機器により、達成される。

#### 図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の圧電デバイスの実施形態を示す概略平面図。

図 2 は、図 1 の E－E 線概略断面図。

図 3 は、図 1 の圧電デバイスに利用される圧電振動片の主要部を示す概略斜視図。

図 4 は、図 3 の F－F 線切断端面図。

図 5 は、振動腕に溝を形成しない圧電振動片に駆動時に形成される電界に基づく電流と、周波数変化率の関係を示すグラフ。

図 6 は、振動腕に溝を形成し支持部を設けない圧電振動片に駆動時に形成される電界に基づく電流と、周波数変化率の関係を示すグラフ。

図 7 は、本実施形態の圧電振動片に駆動時に形成される電界に基づく電流と、周波数変化率の関係を示すグラフ。

図 8 は、振動腕に溝を設け支持部を形成しない所謂音叉型の圧電振動片について、C I 値と温度特性との相関を示したグラフ。

図 9 は、本実施形態の圧電振動片について、C I 値と温度特性との相関を示したグラフ。

図 10 は、本発明の実施形態に係る圧電デバイスを利用した電子機器の一例としてのデジタル式携帯電話装置の概略構成を示す図。

図 11 は、従来の圧電デバイスの一例を示す概略断面図。

図 12 は、図 11 の圧電デバイスに使用される圧電振動片の概略平面図。

図 13 は、図 12 の B-B 線切断端面図。

図 14 は、図 11 の圧電デバイスに使用される圧電振動片について周波数シフトと温度特性との正常な関係を示すグラフ。

図 15 は、図 11 の圧電デバイスに使用される圧電振動片について周波数シフトと温度特性との好ましくない関係が生じていること示すグラフ。

発明を実施するための最良の形態



図 1 及び図 2 は、本発明の圧電デバイスの第 1 の実施の形態を示しており、図 1 はその概略平面図、図 2 は図 1 の E－E 線概略断面図である。

図において、圧電デバイス 30 は、圧電振動子を構成した例を示しており、圧電デバイス 30 は、パッケージ 36 内に圧電振動片 32 を収容している。パッケージ 36 は、例えば、絶縁材料として、酸化アルミニウム質のセラミックグリーンシートを成形して形成される複数の基板を積層した後、焼結して形成されている。複数の各基板は、その内側に所定の孔を形成することで、積層した場合に内側に所定の内部空間 S2 を形成するようにされている。この実施形態は、パッケージ 36 の厚さを最小とするために、第 1 の基板 61 と第 2 の基板 62 を積層して形成されており、第 2 の基板 62 の内側の材料を除去することで、内部空間 S2 のスペースを形成している。

この内部空間 S2 が圧電振動片を収容するための収容空間である。

パッケージ 36 の内部空間 S2 内の図において左端部付近において、内部空間 S2 に露出して内側底部を構成する第 1 の基板 61 には、例えば、タングステンメタライズ上にニッケルメッキ及び金メッキで形成した電極部 31、31 が設けられている。

この電極部 31、31 は、外部と接続されて、駆動電圧を供給するものである。この各電極部 31、31 の上に導電性接着剤 43、43 が塗布され、この導電性接着剤 43、43 の上に圧電振動片 32 の基部 51 の幅方向両端部に設けた引き出し電極 33、33 が載置されて、導電性接着剤 43、43 が硬化されるようになっている。尚、導電性接着剤 43、43 としては、接合力を発揮する接着剤成分としての合成樹脂剤に、銀製の細粒等の導電性の粒子を含有させたものが使用でき、シリコーン系、エポキシ系またはポリイミド系導電性接着剤等を利用することができる。

圧電振動片 32 は、例えば水晶で形成されており、水晶以外にもタンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム等の圧電材料を利用することができる。本実施形態の場合、圧電振動片 32 は、小型に形成して、必要な性能を得るために、特に図示する形状とされている。

すなわち、圧電振動片 32 は、パッケージ 36 側と後述するようにして固定される基り 51 と、この基り 51 を基端として、図において右方に向けて、二股に別れて平行に延びる一対の振動腕 34, 35 を備えており、全体が音叉のような形状とされた、所謂、音叉型圧電振動片が利用されている。

この圧電振動片 32 の詳しい構成については、さらに後で説明する。

パッケージ 36 の開放された上端には、蓋体 39 が接合されることにより、封止されている。蓋体 39 は、パッケージ 36 に封止固定した後で、図 2 に示すように、外部からレーザ光 LB を圧電振動片 32 の金属被覆部もしくは励振電極の一部（図示せず）に照射して、質量削減方式により周波数調整を行うために、光を透過する材料、特に、基板ガラスにより形成されている。

蓋体 39 として適するガラス材料としては、例えば、ダウンドロー法により製造される基板ガラスとして、例えば、硼珪酸ガラスが使用される。

次に、図 3 及び図 4 を参照して、圧電デバイス 30 のパッケージ 36 内に收容される圧電振動片 32 について、詳しく説明する。

図 3 は、圧電振動片 32 の構成を示す概略斜視図、図 4 は図 3 の F-F 線切断端面図（切断面だけを示す図）である。

図 3 において、圧電振動片 32 は、例えば、圧電材料である水晶を音叉型に加工されて形成されている。このとき、図 3 に示す X 軸が電気軸、Y 軸が機械軸及び

Z 軸が光軸となるように水晶の単結晶から切り出されることになる。また、水晶の単結晶から切り出す際、上述の X 軸、Y 軸及び Z 軸からなる直交座標系において、X 軸回りに、X 軸と Y 軸とからなる X Y 平面を反時計方向に約マイナス 5 度乃至プラス 5 度傾けて形成される。

図 3 において、圧電振動片 3 2 は、このような条件のもとに、上述したように、基部 5 1 から平行に延びる一対の振動腕 3 4, 3 5 を有している。この実施形態では、圧電振動片 3 2 は、基部 5 1 の各振動腕 3 4, 3 5 の基端部近傍に、基部 5 1 の幅を縮幅するようにして設けたくびれ部、もしくは切欠き部 4 8, 4 8 を備えている。圧電振動片 3 2 は、この切欠き部 4 8, 4 8 を備えることにより、各振動腕 3 4, 3 5 からの振動の基部 5 1 側への漏れ込みが抑制されるようになっている。

各振動腕 3 4, 3 5 には、それぞれ長さ方向に延びる溝 4 4, 4 4 を有している。この各溝 4 4, 4 4 は、図 4 に示されているように、各振動腕 3 4 の表裏両面に形成されており、図 4 には示されていないが、振動腕 3 5 に形成される溝も同じ構造である。図 4 において、溝 4 4 の長さ方向の一端部 M 1 から他端部 M 2 に到る全長が L A で示されている。

さらに、圧電振動片 3 2 の基部 5 1 の端部（図 2 では左端部）の幅方向両端付近には、上述したように、パッケージ 3 6 の電極部 3 1, 3 1 と接続するための引き出し電極 3 3, 3 3 が形成されている。各引き出し電極 3 3, 3 3 は、圧電振動片 3 2 の基部 5 1 の表裏に設けられている。これらの各引き出し電極 3 3, 3 3 は、各振動腕 3 4, 3 5 の溝 4 4, 4 4 内に設けた図示しない励振電極と接続されている。励振電極の形成箇所の設け方は従来と同様であるから省略する。

次に、振動腕 3 4, 3 5 に設けられた溝 4 4, 4 4 の構造について説明するが、これらは各振動腕 3 4, 3 5 について同一の構造なので、図 3 及び図 4 に関して

、どちらか現れている箇所を示しながら、全体としての振動腕と溝との関係等について説明する。

圧電振動片 3 2 の腕幅  $W 1$  は、例えば、 $50 \mu m$  ないし  $150 \mu m$  である。この圧電振動片 3 2 の振動腕 3 4 の厚み  $D 1$  に対して、図 4 に示す溝 4 4 の溝深さ  $D 2$  は、 $D 1$  の 30 パーセント以上、50 パーセント未満に設定されている。

また、溝 4 4 の溝幅  $W 2$  は、好ましくは、振動腕 3 5 の腕幅  $W 1$  の 40 パーセント以上に設定され、さらに好ましくは、70 パーセント以上とされている。

また、図 3 に示すように、振動腕 3 4 を構成する材料（この実施形態では「水晶材料」）は、この振動腕 3 4 に設けた溝 4 4 により、3 4 a の部分と 3 4 b の部分に分離されているが、図 4 に示すように、底部 4 6 は一体に形成されている。したがって、溝 4 4 は有底の溝であり貫通していない。

さらに、図 3 に示すように、振動腕 3 4、3 5 の各溝 4 4、4 4 には、それぞれ、例えば、サイドバー状の支持部 4 5、4 5 が設けられている。具体的には、振動腕 3 4 の溝 4 4 により分離される 3 4 a の部分と 3 4 b の部分には、支持部 4 5 が一体に接続されている。

図 4 に示されているように、支持部 4 5 は、溝 4 4 の底部 4 6 と一体であり、この支持部 4 5 の溝の底部 4 6 と一体になった一体部 4 5 a、4 5 b が、この支持部 4 5 の少なくとも溝 4 4 の開溝側の端部よりも、その厚みが増すように形成されている。具体的には、支持部 4 5 と底部 4 6 とが一体となる箇所である一体部 4 5 a は裾を引くように底部 4 6 側に向かって広がっている。

この実施形態では、図 4 に示されているように、溝 4 4 に支持部 4 5 はひとつだけ設けられ、溝 4 4 の一端部  $M 1$  から、支持部 4 5 のさ心  $O$  までの距離  $L 1$  と、

支持部 4 5 の中心 O から溝 4 4 の他端部 M 2 までの距離  $L_2$  は等しい関係になるようにされている。

これにより、溝 4 4 はその全長  $L_A$  が支持部 4 5 により二分されることになり、圧電振動片 3 2 が駆動された際に、その屈曲振動が支持部 4 5 により等分されることになるので、捩じれ方向の変形が打ち消しあって、全体として捩じれ変形が生じにくい。

また、支持部 4 5 は溝 4 4 の全長  $L_A$  の範囲で複数設けるようにしてもよい。これにより、振動腕 3 4 の剛性はその分向上するが、C I 値も上昇する。したがって、C I 値の上昇が許容される範囲において、支持部 4 5 の数を増やすことで、より振動腕 3 4 の剛性を向上させることができる。

本実施形態は以上のように構成されており、図 4 で説明したように、圧電振動片 3 2 の各振動腕 3 4, 3 5 に形成される溝 4 4, 4 4 は、有底の溝であることから、各振動腕 3 4, 3 5 に貫通溝を形成する場合と比較すると、これら各振動腕 3 4, 3 5 は、より高い剛性を備えることになる。

しかも、図 3 及び図 4 において、各溝 4 4 には、支持部 4 5 が設けられている。この支持部 4 5 は、溝 4 4 の底部 4 6 と一体となって、溝 4 4 により幅方向に分離された振動腕 3 4 を構成する材料 3 4 a, 3 4 b を支持し、変形が生じないようにする。このため、振動腕 3 4 の捩じれ方向の剛性を強化することができる。

したがって、この圧電振動片 3 2 では、支持部 4 5 を振動腕 3 4, 3 5 のひとつの溝 4 4 に多数設ける必要がないので、C I 値の上昇を招くことなく、振動腕 3 4, 3 5 の垂直方向の動きを抑制して、振動腕のほぼ全長にわたり剛性を確保することで、適切な振動を実現できる。

しかも、図 4 で説明したように、支持部 4 5 は溝 4 4 の底部 4 6 に向かってその厚みが増すようにした一体部 4 5 a, 4 5 b を備えている。このため、支持部 4

5は溝44の底部46と特に強固に接続されている。したがって、この圧電振動片32においては、支持部45が、溝44の底部46と強固に固定されることで、振動腕34の振じれ方向の変形力に対して、効果的に対抗して、この振じれ方向の変形を一層効果的に防止することができる。

さらに、上述したように、圧電振動片32の各振動腕34、35の腕幅 $W_1$ が、 $50\mu\text{m}$ ないし $150\mu\text{m}$ であり、溝44の深さ $D_2$ が、各振動腕34、35の材料厚みの30パーセント以上50パーセント未満とされている。これにより、十分低いCI値とすることができる。

この場合、溝44の深さ $D_2$ が、振動腕34の材料厚み $D_1$ の30パーセント未満であると、CI値の低減効果が十分得られず、実用可能なCI値とすることができない場合がある。例えば、 $32.768\text{kHz}$ の音叉振動子で腕幅が $100\mu\text{m}$ の場合、溝深さ $30\mu\text{m}$ （材料厚みの30パーセント）、溝幅 $70\mu\text{m}$ （腕幅の70パーセントであって、これ以上溝幅を広げてもCI値があまり低下しなくなる寸法）であっても、CI値は $100\text{k}\Omega$ 程度と実用範囲の限界付近の値となっている。

また、溝44の深さ $D_2$ が、振動腕34の材料厚み $D_1$ の50パーセントを越えると、振動腕の表裏面にそれぞれ溝44を形成することが不可能となる。

また、図3に示すように、圧電振動片32の溝44の溝幅 $W_2$ が、振動腕の腕幅 $W_1$ の40パーセント以上とされている。この場合、溝44の溝幅 $W_2$ が、振動腕の腕幅 $W_1$ の40パーセント未満であると、CI値の低減効果が十分得られないことから、実用可能なCI値とならない可能性がある。例えば、 $32.768\text{kHz}$ の音叉振動子で腕幅が $100\mu\text{m}$ の場合、溝深さ $45\mu\text{m}$ （材料厚みの45パーセントで、これ以上溝深さを拡大すると、貫通のおそれがあることから製造が困難である）、溝幅 $40\mu\text{m}$ （腕幅の40パーセント）では、CI値は $100\text{k}\Omega$ 程度と実用範囲の限界付近の値となっている。

さらに、好ましくは、圧電振動片 3 2 では、溝 4 4 の溝幅 W 2 が、振動腕の腕幅 W 1 の 7 0 パーセント以上とすることができる。これにより、C I 値の低減効果は最大限に得られる範囲となる。尚、溝 4 4 の溝幅 W 2 が、振動腕の腕幅 W 1 の 1 0 0 パーセントでは溝形成が不可能となることは言うまでもない。

図 5 ないし図 7 は、駆動時に圧電振動片に形成される電界に基づく電流と、周波数変化率の関係をシュミレーションにより確認したグラフである。

所謂音叉型の圧電振動片では、 $\Delta f / f =$  周波数変化率、 $I^2$  = 圧電振動片に流れる電流の二乗値、とすると、一般に次式の関係が成立する。  

$$\Delta f / f = k_1 \cdot I^2 + k_2 \cdot I^2 \cdot \dots \cdot \text{式 (2)}$$

ここで、 $k_1$  は、圧電振動片が水平方向（図 1 3 の x 方向）に振動する弾性体として決まる定数（正の値となる）。 $k_2$  は、圧電振動片が垂直方向（図 1 3 の z 方向）に振動する弾性体として決まる定数（負の値となる）。

図 5 は、圧電振動片に溝を形成しない場合、つまり、図 3 のような圧電振動片 3 2 において、例えば、溝 4 4、4 4 を設けないような形態の圧電振動片の特性を示している。この場合には、 $\Delta f / f$  は正の値を示し、振動周波数は 3 ないし 5 p p m の範囲でばらついている。

図 6 は、圧電振動片に溝のみを形成した場合、つまり、図 3 の圧電振動片 3 2 において、例えば、溝 4 4、4 4 を設けて、支持部 4 5、4 5 を設けないような形態の圧電振動片の特性を示している。この場合には、図 1 3 で説明した理由により、 $k_2$  である垂直振動成分が大きくなり、 $\Delta f / f$  は負の値を示し、振動周波数はマイナス 8 ないしマイナス 4 p p m の範囲でばらついている。

図 7 は、本実施形態の圧電振動片 3 2 であり、各振動腕 3 4、3 5 に溝 4 4、4 4 を形成し、溝 4 4 内には支持部 4 5 を形成した形態の圧電振動片の特性を示している。図示されているように、図 6 に比べて  $k_2$  である垂直振動成分が大幅に

小さくなり、 $\Delta f / f$ である振動周波数の変動率もマイナス1ないしプラス2 p p m程度のばらつきに収まることがわかる。

図8及び図9は、所謂音叉型の圧電振動片について、C I値と温度特性との相関を示したグラフであり、C I値の変化と図14及び図15で説明した頂点温度の相関を示している。

図8は振動腕に溝を設け支持部を形成しない場合のC I値－温度特性を示し、図9は本実施形態の圧電振動片32のC I値－温度特性を示すグラフである。

図8の場合、C I値が変化（上昇）するにしたがい、頂点温度がマイナス側にシフトしている。これに対して、図9の本実施形態の場合には、C I値が変化しても頂点温度がシフトしないことがわかる。

すなわち、図8のようにC I値と頂点温度に相関が現れるのは、振動腕に溝を設け支持部を形成しない場合に、振動腕の垂直振動成分の不安定さが生じるからであり、図9のように、振動腕に溝を設け支持部を形成すると、図9のようにC I値に依存せずに頂点温度を安定させることができる。

図10は、本発明の上述した実施形態に係る圧電デバイスを利用した電子機器の一例としてのデジタル式携帯電話装置の概略構成を示す図である。

図において、送信者の音声を受信するマイクロフォン308及び受信内容を音声出力とするためのスピーカ309を備えており、さらに、送受信信号の変調及び復調部に接続された制御部としての集積回路等なるCPU（Central Processing Unit）301を備えている。

CPU301は、送受信信号の変調及び復調の他に画像表示部としてのLCDや情報入力のための操作キー等なる情報の入出力部302や、RAM、ROM等



でなる情報記憶手段 303 の制御を行うようになっている。このため、CPU 301 には、圧電デバイス 30 が取り付けられて、その出力周波数を CPU 301 に内蔵された所定の分周回路（図示せず）等により、制御内容に適合したクロック信号として利用するようにされている。この CPU 301 に取付けられる圧電デバイス 30 は、圧電デバイス 30 等単体でなくとも、圧電デバイス 30 等と、所定の分周回路等とを組み合わせた発振器であってもよい。

CPU 301 は、さらに、温度補償水晶発振器（TCXO）305 と接続され、温度補償水晶発振器 305 は、送信部 307 と受信部 306 に接続されている。これにより、CPU 301 からの基本クロックが、環境温度が変化した場合に変動しても、温度補償水晶発振器 305 により修正されて、送信部 307 及び受信部 306 に与えられるようになっている。

このように、制御部を備えたデジタル式携帯電話装置 300 のような電子機器に、上述した実施形態に係る圧電振動片 32 と、これらを利用した圧電デバイス 30 を利用することにより、CI 値の上昇を形くことなく、振動腕の垂直方向の動きを場制して、振動腕のほぼ全長にわたり剛性を確保することで、適切な振動を実現できることから、正確なクロック信号を生ッすることができる。

本発明は上述の実施形態に限定されない。各実施形態の各構ッはこれらを適宜組み合わせたり、省略し、図示しない他の構ッと組み合わせることができる。

また、この発明は、パッケージ内、あるいは金属製の筒状のケース等に圧電振動片を収容するものであれば、圧電振動子、圧電発振器等の名称にかかわらず、全ての圧電デバイスに適用することができる。

また、上述の実施形態では、パッケージに圧電材料を使用した箱状のものを利用しているが、このような形態に限らず、少なくともパッケージの一部について、

光が透過できる箇所を設けたものであれば、いかなるパッケージやケースを伴うものについても本発明を適用することができる。

2002年12月17日出願の日本国特許、出願番号2002-365531の開示全文を参照として本明細書に添付する。

## 特許請求の範囲

(1)

圧電材料により形成されており、基部から平行に延びる一対の振動腕と、

前記各振動腕にそれぞれ設けられ、各振動腕の長さ方向に沿って延びる有底の溝と、

前記溝を幅方向に横切るように設けられ、前記溝により幅方向に分離された振動腕を構成する材料を一体に接続する支持部と

を備えることを特徴とする、圧電振動片。

(2)

前記支持部の前記溝の底部と一体になった一体部が、この支持部の少なくとも前記溝の開口側の端部よりも、その厚みが増すように形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の圧電振動片。

(3)

前記溝が前記各振動腕の表面及び裏面にそれぞれ設けられていることを特徴とする請求項 1 または 2 のいずれかに記載の圧電振動片。

(4)

前記支持部が、前記溝の一つに対して複数形成されていることを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の圧電振動片。

(5)

前記各振動腕の腕幅が、 $50\mu\text{m}$  ないし  $150\mu\text{m}$  であり、前記溝の深さが、前記各振動腕の材料厚みの 30 パーセント以上、50 パーセント未満であることを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の圧電振動片。

(6)

前記各振動腕に設けた前記溝の溝幅が、各振動腕の腕幅の 40 パーセント以上であることを特徴とする請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載の圧電振動片。

(7)

前記各振動腕に設けた前記溝の溝幅が、各振動腕の腕幅の70パーセント以上であることを特徴とする請求項6に記載の圧電振動片。

(8)

ケースもしくはパッケージ内に圧電振動片を収容した圧電デバイスであって、  
前記圧電振動片が、

基部から平行に延びる一対の振動腕と、

前記各振動腕にそれぞれ設けられ、各振動腕の長さ方向に沿って延びる有底の溝と、

前記溝を幅方向に横切るように設けられ、前記溝により幅方向に分離された振動腕を構成する材料を一体に接続する支持部と

を備えることを特徴とする、圧電デバイス。

(9)

ケースもしくはパッケージ内に圧電振動片を収容した圧電デバイスを利用した携帯電話装置であって、

前記圧電振動片が、

基部から平行に延びる一対の振動腕と、

前記各振動腕にそれぞれ設けられ、各振動腕の長さ方向に沿って延びる有底の溝と、

前記溝を幅方向に横切るように設けられ、前記溝により幅方向に分離された振動腕を構成する材料を一体に接続する支持部とを備える圧電デバイスにより、制御用のクロック信号を得るようにしたことを特徴とする、携帯電話装置。

(10)

ケースもしくはパッケージ内に圧電振動片を収容した圧電デバイスを利用した電子機器であって、

前記圧電振動片が、  
基部から平行に延びる一対の振動腕と、

前記各振動腕にそれぞれ設けられ、各振動腕の長さ方向に沿って延びる有底の溝と、

前記溝を幅方向に横切るように設けられ、前記溝により幅方向に分離された振動腕を構成する材料を一体に接続する支持部とを備える圧電デバイスにより、制御用のクロック信号を得るようにしたことを特徴とする、電子機器。

## 要約書

C I 値の上昇を招くことなく、振動腕の垂直方向の動きを抑制して、振動腕のほぼ全長にわたり剛性を確保することで、適切な振動を実現できる圧電振動片と、この圧電振動片を利用した圧電デバイスを提供すること。

圧電材料により形成されており、基部 5 1 から平行に延びる一対の振動腕 3 4 , 3 5 と、前記各振動腕にそれぞれ設けられ、各振動腕の長さ方向に沿って延びる有底の溝 4 4 , 4 4 と、前記溝を幅方向に横切るように設けられ、前記溝により幅方向に分離された振動腕を構成する材料を一体に接続する支持部 4 5 , 4 5 とを備える。